УДК 621.78

А.З.ЖУРАВЛЕВ, Н.А.ИВЧЕНКО, Г.Н.БАКЛАГ,
Е.А.ЕФРЕМОВА, В.В.КУЗНЕЦОВ, А.С.ДУГИНЦЕВ

НЕРАВНОМЕРНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПРИ ОДНОНАПРАВЛЕННОМ ТЕЧЕНИИ МЕТАЛЛА В ШТАМПЕ

Обсуждается вопрос образования дефектов в виде трещин на некоторых участках штампованных заготовок в связи с существенной неравномерностью деформации в этих местах. Предлагается способ определения мест возможного разрушения.
Ключевые слова: *упругая, упругопластическая и пластическая деформации, интенсивность деформаций и градиент деформации.*

Введение. Известно, что детали получаемые обработкой металлов давлением, прочнее, чем изготовленные литьём или сваркой. Однако кованые и штампованные детали иногда разрушаются до ввода их в эксплуатацию. Исследования доказали, что причиной этому является чрезмерно неравномерное распределение деформации в некоторых штампованных деталях в переходных областях.

Постановка задачи. Исследованием неравномерной деформации начали заниматься в начале прошлого столетия, но до настоящего времени ещё не установлены оптимальные режимы деформирования, неполностью выявлены условия появления разрушений в штампованных деталях после снятия нагрузки до ввода их в эксплуатацию.

Неравномерность деформаций снижает качество изделий, особенно получаемых штамповкой в закрытом штампе [1, 2], приводит к образованию трещин и прострелов в поковках, имеющих выступы. Это объясняется образованием застойных зон, где скорости перемещения металла равны нулю. Как объясняет В.А.Евстратов [2], на поверхности, отделяющей очаг деформации от застойной зоны, возникают большие градиенты деформации, приводящие к снижению ресурса пластичности и, как следствие, к разрушению.

Причины возникновения неравномерности пластической деформации в исследованиях. Проанализируем возможные предпосылки для возникновения неравномерности пластической деформации, используя диаграмму растяжения - сжатия (рис.1).

Внутри областей *а, б, в* трудно ожидать большой неравномерности деформации, так как в них градиент деформации невелик. Но на границах перехода из одной области в другую изменяется скорость перемещения металла, и здесь можно ожидать её скачка. Такими областями являются границы между зонами *а* и *б*. Наибольший градиент деформации наблюдается между зонами *б* и *в*, а значит возможно и возникновение остаточных напряжений, приводящих к разрушению.

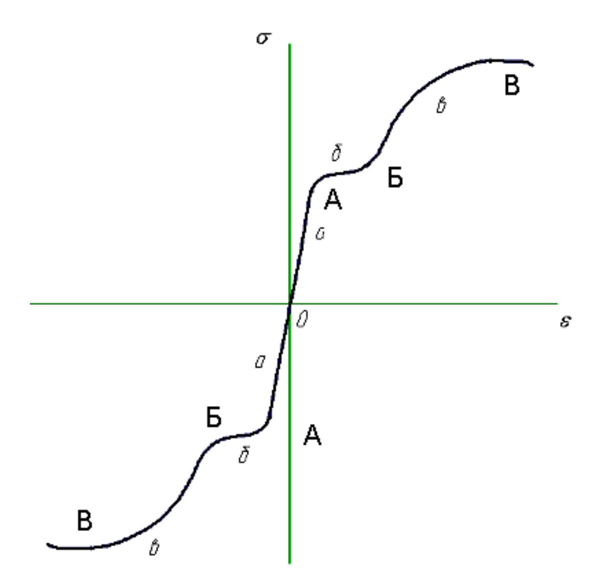


Рис.1. Диаграмма растяжения - сжатия стального образца

Для определения неравномерности деформации авторы [1] предлагают рассчитывать градиент деформации по направлению, а степень деформации для всего объема выражать в аналитической форме. В.А.Евстратов предлагает для количественной оценки неравномерности деформации два критерия [2]: коэффициент неравномерности деформации и градиент неравномерности деформаций. Оба они определяются по искажению координатной сети, так как в этом случае необходимо знать локальные деформации в каждой точке. Последний вариант дает возможность найти те участки в деформируемом объеме, где существенно изменяется характер течения материала и соответственно изменяется степень деформации на малых перемещениях.

Вопросам появления брака и разрушения в штампованных деталях в связи с неравномерностью деформаций посвящены работы многих авторов [1-6]. Но окончательных выводов о природе появления брака и разрушений в литературе нет.

Так, С.И.Губкин [3], изучая процесс прессования, наносил координатную сетку на меридиональную плоскость разрезанных образцов, изменял трение на контактных поверхностях, менял температуру нагрева и наблюдал характер изменения координатной сетки.

При исследовании неравномерности деформации в процессе осадки этот же автор осаживал цилиндрический образец, разрезал по меридиональной плоскости и на ней определял твердость по Роквеллу, по изменению которой оценивал неравномерность деформации по всему сечению.

И.Л.Перлин [4] перед волочением прутка на меридиональную плоскость разрезанного образца наносил координатную сетку в виде окружностей и после волочения наблюдал её поэтапное искажение, свидетельствующее о неравномерности деформации по сечению.

Я.М.Охрименко, В.А.Тюрин [1] посвятили целую монографию неравномерности деформации в процессе ковки, которую можно наблюдать визуально по искажению координатной сетки в процессе постепенного оса-

живания образцов. И в этом исследовании на основе метода координатных сеток и микроструктурного анализа дано заключение о местах наиболее неравномерной деформации, но не дано обоснование причин её возникновения.

Для исследования неравномерности деформации при штамповке в закрытом штампе А.З.Журавлев [5] наносил координатную сетку на меридиональную плоскость разрезанного цилиндрического образца с фасками и помещал его в глухую цилиндрическую полость. При осадке образца под действием внешней силы прямолинейная образующая фаски на заготовке постепенно превращалась в дугу окружности, заполняя углы полости. Здесь наблюдалось наибольшее искажение сетки, а наименьшее – в центральной части образца. В процессе поэтапной осадки по искаженной координатной сетке А.З.Журавлевым определялась интенсивность деформации на меридиональной плоскости. Результаты исследования были представлены в виде графика (рис.2).

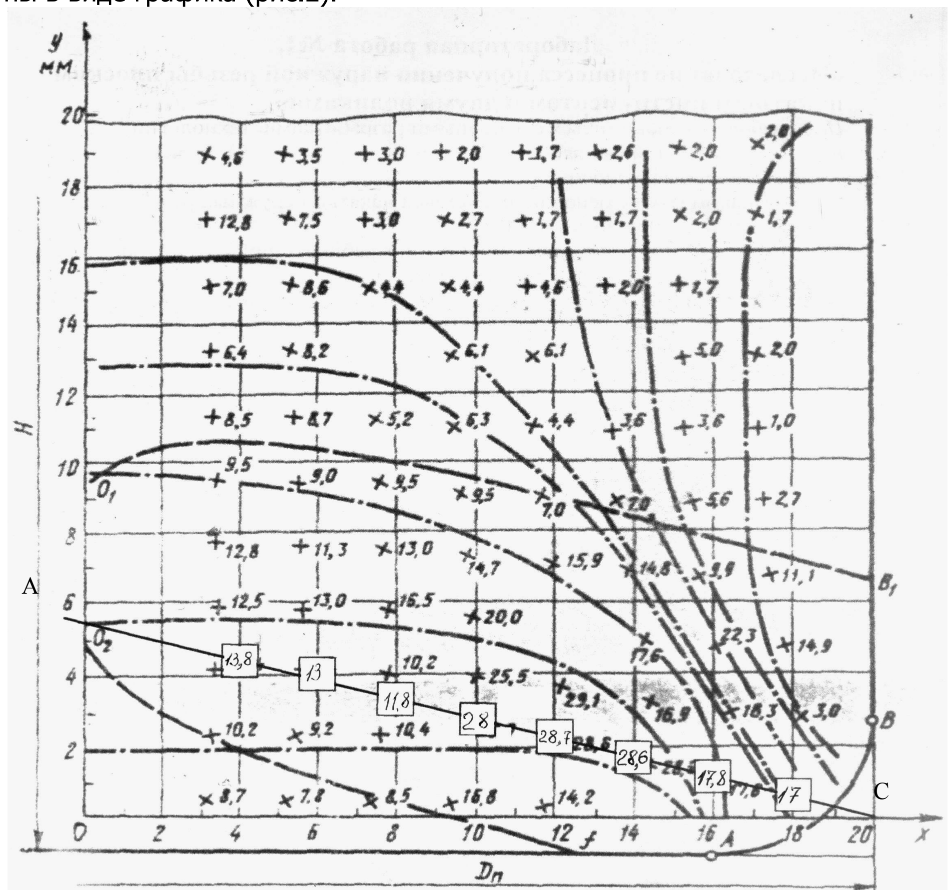
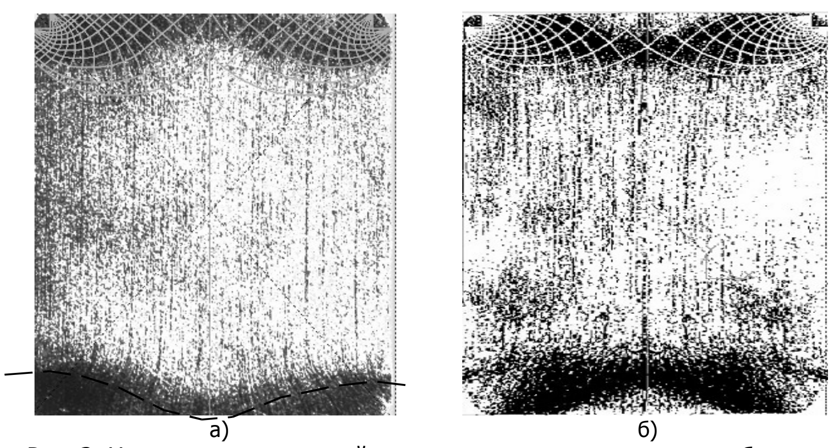


Рис.2. Распределение интенсивности деформаций по сечению образца

Согласно приведенным данным, наибольшая интенсивность деформаций наблюдается вблизи донной части матрицы и вблизи угла матрицы. Причем градиент деформации наблюдается в некоторой области, а не находится на линии или на границе двух областей.

А.Надаи [6] выполнил исследования процесса пластической деформации вдавливанием плоского пуансона в полупространство с последующим травлением деформированного образца методом Фрая. В результате чего получил картину, состоящую из различных областей: область пластической деформации (тёмная), переход от неё в упругопластическую зону (отдельные линии), и далее - упругая область (светлая).

Эксперименты проводились при различных граничных условиях: с минимальным трением (рис.3, а) и с максимальным трением (рис.3, б). На полученную картину накладывали поля линий скольжения, которые полностью совпали с протравленными областями.



а) б)

Рис. 3. Наложение поля линий скольжения на протравленные образцы, осаженные в закрытом штампе: а - с минимальным поверхностным трением; б – с максимальным поверхностным трением

На представленных образцах из проката с четкой волокнистой структурой видно искривление волокон (обозначено пунктиром) (см. рис.3, а) при переходе от тёмной области к светлой (в переходной упругопластической зоне). В недеформированной светлой области волокна располагаются вдоль оси образца, а построенное поле линий скольжения не распространяется в эту область. В темной области наибольшее искривление волокон наблюдается вблизи угла полости. Это область наиболее интенсивного течения металла. Она полностью покрывается сеткой линии скольжения.

При той же самой схеме деформации, но при большом трении (см. рис.3, б) более четко видно разграничение всех областей.

Сравнение этих исследований (см.рис.2, 3) показывает, что в областях, не описываемых линиями скольжения (светлые области на рис.3,а,б), интенсивность деформаций изменяется незначительно (см.рис.2). Рост ее наблюдается вблизи нижнего торца, там, где на рис.3 темные и серые области. При этом наибольший скачок наблюдается не в темных зонах, а в серых. Сами серые зоны представляют собой значительную область.

Определение областей наибольшей неравномерности деформаций. Для исследования использовали методику, предложенную автором [2]. Эксперименты проводили на цилиндрических образцах с фасками, осаживаемыми в закрытом штампе. По искривлению координатной сетки определяли интенсивность деформаций. Области неравномерных деформаций

выявляли по полученным значениям интенсивностей деформаций, для чего в меридиональной плоскости сечения мысленно проводили вертикальные линии, параллельные оси образца через точки с ранее выявленными значениями интенсивности деформации (см. рис.2,точки 4,8,12,16) на оси X. Для этих линий строились графики (рис. 4).

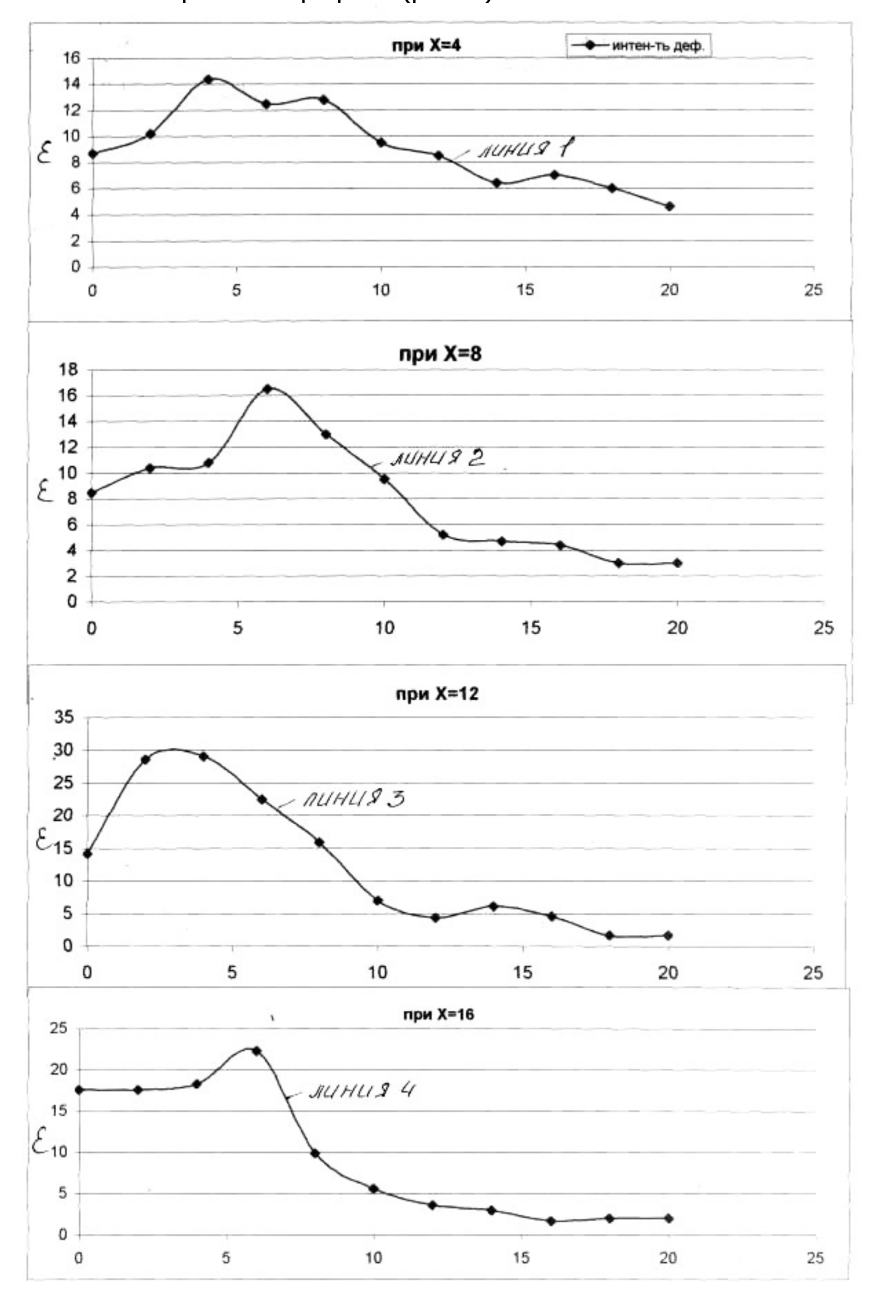


Рис. 4. Графики изменения интенсивности деформации по высоте образца

Как показали результаты, на линии X=4 наблюдается плавное изменение интенсивности деформации от нижнего торца заготовки к верхнему. На линии X=8, расположенной дальше от оси образца, скачки интенсивно-

сти деформаций больше. На линии X=12 в начале наблюдается значительное увеличение интенсивности, достигающее максимума в точке 3, а затем резкое падение. На линии X=16 вблизи торца интенсивность постоянная, затем происходит резкое её уменьшение.

Рассмотрим согласование построенных графиков (см.рис.4) с картинами, приведенными на рис.3,*а,б.* На линии X=16, в ее начале, интенсивность деформации высокая, достигает максимума в точке 6 (см. рис.4) и далее падает, что подтверждается тёмной пластической областью, которая касается дна штампа (см. рис.3,*а*). Этот переход является критическим, так как такие скачки, по мнению автора [2], помогут привести к разрушению образца. Таким же образом согласуются с построенными полями линий скольжения и остальные графики. В тех областях, в которые не распространяется пластическая деформация (светлые зоны на рис.3,а,б), интенсивность деформаций почти постоянная. Таким образом, построение кривых дают возможность выявить направление наибольшей неравномерности деформации и определить области возможного разрушения.

Направление наибольшей неравномерности деформаций на рис.2 представлено отрезком AC (на рис.2 это линия со значениями интенсивности деформации в квадратиках). Для этого отрезка построен график (рис.5), на котором показана зависимость изменения интенсивности деформации вдоль линии, проходящей примерно по центру тёмной области от угла образца к его оси.

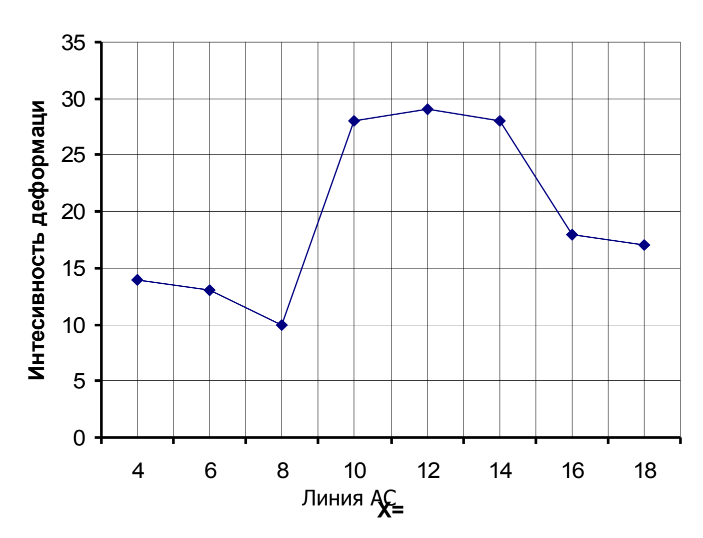


Рис. 5. График изменения интенсивности деформации

На линиях пересечения прямой AC с линиями X=4, X=6 интенсивность изменяется незначительно, а на участках X=10; X=14-16 имеется значительный скачок интенсивности деформации, охватывающий некоторую область по высоте образца от 2 до 8 мм.

Это можно объяснить переходом интенсивной пластической зоны в менее интенсивную или даже в упругую. Такой переходной зоной является область упругопластической деформации.

Анализ полученных результатов показал, что для определения неравномерности деформаций достаточно построить поле линий скольжения

и на его границах определить интенсивность деформаций. Эта граница будет представлять переходную область от пластической к упругой. Граница является не четкой линией, а областью.

Скачок интенсивности деформаций в такой области свидетельствует о критических зонах, в которых создаются условия для возникновения разрушений.

Выводы. 1. Наибольший скачок интенсивности деформации проявляется на границе перехода упругой к пластической деформации, т.е. в упруго-пластической области.

2. Значительный градиент интенсивности деформации в деталях, полученных штамповкой, наблюдается вблизи нижней торцевой поверхности. В этом месте возможно разрушение деформируемого металла.

Библиографический список

1. *Охрименко Я.М.* Неравномерность деформации при ковке / Я.М.Охрименко, В.А.Тюрин. – М.: Машиностроение, 1969. – 183 с.

2. *Евстратов В.А.* Теория обработки металлов давлением / В.А.Евстратов. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. университете. 1981. – 241 с.

3. *Губкин С.И.* Теория обработки металлов давлением / С.И.Губкин. – М.: ГНТИ, 1947. – 532 с.

4. *Перлин И.Л.* Теория волочения / И.Л.Перлин. – М.: Металлургиздат, 1957. – 424 с.

5. *Журавлёв А.З.* Основы теории штамповки в закрытых штампах / А.З.Журавлёв. – М.: Машиностроение, 1973. – 221 с.

6. *Надаи А.* Пластичность. / А.Надаи. – М.: Машиностроение, 1936. – 196 с.

Материал поступил в редакцию 19.09.07.

A.Z. ZHURAVLEV, N.A. IVCHENKO, E.A. EFREMOVA , G.N. BACLAG, V.V. KUZNECOW, A.S.DUGINCEW

NONUNIFORMITY DEFORMATION DURING ONESIDED METAL FLEW TO A DIE IMPRESSION

The problem of appearing defects in the form of crack formation on some areas of forgings can be explained by considerable non-uniformity deformation occurred in these areas. To optimize solving the problem in we suggest the method of defining these possible destructive areas.

ЖУРАВЛЕВ Александр Захарович (р.1909), профессор (1966) кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» ДГТУ, доктор технических наук. Окончил РИСХМ (1938).
Область научных интересов – пластические деформации при прокатке и накатке, прессовании, штамповке.
Автор свыше 240 публикаций.

ИВЧЕНКО Наталья Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Начертательная геометрия и графика» Ростовского-на-Дону университета путей сообщения (РГУПС). Окончила РИСХМ (1961).
Научное направление – точение различных материалов инструментами из минералокерамики.
Автор более 40 научных работ.

БАКЛАГ Григорий Николаевич (р.1959), кандидат технических наук (1988), доцент (1999) кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» ДГТУ, заведующий лабораториями кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» ДГТУ. Окончил РИСХМ (1981).
Научное направление – процессы поверхностной пластической деформации.
Опубликовал свыше 30 научных работ.

ЕФРЕМОВА Елена Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» ДГТУ. Окончила РИСХМ (1974).
Научное направление – процессы холодной объемной штамповки.
Автор более 40 научных работ.

КУЗНЕЦОВ Владимир Васильевич (р.1984), окончил ДГТУ в 2006 году с отличием по специальности «Машины и технология обработки металлов давлением», сотрудник лаборатории кафедры с 2003 года в должности инженера.

ДУГИНЦЕВ Александр Сергеевич (р.1982) сотрудник кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением». Окончил ДГТУ в 2006 году с отличием.